

La dilatación relativista del tiempo. Una mirada desde el aula

Manuel Tovar
Rubén Santos



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



innova**CESAL**



Proyecto cofinanciado
por la Unión Europea



Proyecto coordinado por
la Universidad Veracruzana,
México

2011



Proyecto cofinanciado
por la Unión Europea



Universidad Veracruzana

Proyecto coordinado
por la Universidad Veracruzana,
México

«La presente publicación ha sido elaborada con la asistencia de la Unión Europea. El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva de los autores y en ningún caso refleja los puntos de vista de la Unión Europea».



Esta obra está bajo la licencia de Reconocimiento-No comercial – Sin trabajos derivados 2.5 de Creative Commons. Puede copiarla, distribuirla y comunicarla públicamente, siempre que indique su autor y la cita bibliográfica; no la utilice para fines comerciales; y no haga con ella obra derivada.

La dilatación relativista del tiempo. Una mirada desde el aula.

Manuel Tovar* y Rubén Santos**

31 de marzo de 2011

Resumen

Un curso de Física Moderna en carreras de Ciencias Exactas y Naturales tiene por objetivo familiarizar al alumno no solamente con los “avances” científicos recientes, sino confrontarlos con las fuentes del conocimiento, con la “puesta a prueba” de las teorías y modelos propuestos como “leyes físicas” con los resultados de la experiencia. Los contenidos de este tipo de curso se enmarcan entre los necesarios para un adecuado desarrollo del pensamiento científico y la intervención realizada con este fin en el curso tuvo diferentes componentes asociadas con: i) el desarrollo de competencias para el aprendizaje autónomo y crítico, ii) la vinculación de la investigación científica con los contenidos del curso y iii) la evaluación del aprendizaje de los alumnos. Este informe está referido al segundo punto, donde la intervención específica realizada tuvo por objetivo incorporar el análisis de experimentos posteriores a la formulación de las teorías surgidas a principios del Siglo XX, mostrando que la ciencia no es nunca un producto acabado. El interés de los alumnos en la lectura de trabajos científicos originales, su participación y la riqueza de sus diversas miradas muestran la conveniencia de continuar el tipo de actividad planeada.

Palabras clave: teoría de la relatividad; dilatación del tiempo.

1. Introducción

1.1 El curso

El curso de Física General III es común a las Carreras de Licenciatura y de Profesorado Universitario en Ciencias Básicas y está destinado a alumnos del Ciclo Inicial (primeros cinco semestres de la carrera). Este ciclo está diseñado para dar a los alumnos una formación básica en ciencias, con relativa independencia de la disciplina específica de su carrera. En el curso se introducen conceptos de Física Moderna y participan alumnos de las cuatro orientaciones alternativas de las carreras: Biología, Física, Matemática y Química. Se presentan, a un nivel introductorio, los grandes cambios de paradigma producidos en las ciencias físicas a comienzos del Siglo XX: la Teoría de la Relatividad y la Mecánica Cuántica. Este curso está integrado tradicionalmente por:

a) clases teórico-prácticas en las que se combinan presentaciones a cargo de los docentes de la cátedra con la discusión de tópicos y la resolución y discusión de problemas que, en general, abordan problemas simples. Estos problemas deben ser resueltos en su totalidad por parte de los alumnos, en forma individual o grupal, y los resultados deben ser presentados antes del examen final. Esta exigencia procura enfatizar la importancia de plantear y resolver problemas, más que la mera asistencia a clases expositivas.

A modo de innovación, se incorporaron al curso algunas tareas específicas¹, entre ellas el análisis (individual o grupal) de un trabajo de investigación actual, relacionado con la temática del curso y

* Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO) y Comisión Nacional de Energía Atómica, San Carlos de Bariloche, Argentina e Instituto de Ciencias Básicas, UNCUIYO, Mendoza, Argentina.

** Instituto de Ciencias Básicas, UNCUIYO, Mendoza, Argentina

¹ M. Tovar y Rubén Santos, *La Física, un campo propicio para el desarrollo del pensamiento complejo*, Innova-Cesal, 2011.

publicado en alguna revista de reconocido prestigio en el ámbito internacional. Este informe está dedicado a esta tarea en particular.

Los alumnos deben preparar, asimismo, un informe escrito e individual, aunque la búsqueda haya sido grupal. Adicionalmente deben realizar una exposición oral, que puede o no incluir la proyección de transparencias. Luego de su exposición el alumno debe responder preguntas relacionadas con el material incluido tanto en su informe escrito como en su presentación oral. De esta manera se estimula la búsqueda independiente de información científica, seguida de un proceso de análisis, que será evaluado.

Se busca así contribuir al desarrollo de competencias asociadas al autoaprendizaje, al conocimiento del medio en el que se origina el conocimiento científico, al análisis crítico de la información, a la expresión escrita y oral y acostumbrar al alumno a adquirir responsabilidad sobre el contenido de su producción.

1.2 El contacto con la investigación

Un objetivo específico del Proyecto INNOVA-CESAL es incorporar, como elemento importante para la Educación en Ciencias, el contacto temprano del alumno con la investigación real, con las fuentes del conocimiento. Ello es considerado esencial, tanto para el futuro quehacer de quienes se preparan para una carrera científica, como para quienes desde la función docente deberán transmitir los fundamentos de su disciplina o para aquellos profesionales que deben estar predispuestos a la innovación en actividades que se sustentan en las Ciencias Básicas.

El curso de Física Moderna tiene, como uno de sus objetivos importantes, el confrontar al alumno con el origen de las teorías científicas, que se expresan en forma de “leyes”. Se enfatiza el hecho de que su enunciación es una construcción humana, que busca permanentemente descripciones más abarcativas y unificadas del mundo complejo en el que vivimos.

Para ello, el desarrollo usual del curso incluye la presentación de algunas de las experiencias previas que dieron sustento a las nuevas teorías, tanto en el caso de la Relatividad como en el de la Mecánica Cuántica. En las clases se muestra cómo las experiencias pusieron a prueba las leyes previamente aceptadas, cómo los científicos se enfrentaron a una realidad que generaba incertidumbres al sobrepasar con la experiencia los límites de validez de los modelos conocidos y cómo esta incertidumbre fue resuelta en forma crítica y creativa.

La bibliografía estándar recomendada en este tipo de curso incorpora asimismo referencias a trabajos de investigación posteriores que han contribuido a dar solidez experimental a la teoría, dentro de nuevos límites. Durante las clases se los ha mencionado y se ha “recomendado su lectura”. Sin embargo, al no haberse puesto suficiente énfasis desde la cátedra en la “necesidad” de su lectura y análisis, y no ser una actividad requerida para la aprobación del curso, su importancia no es visualizada adecuadamente por los alumnos.

Analizada la situación, se vio la conveniencia de convertir esta “recomendación” en una parte activa del curso. También se tuvo en cuenta la necesidad de confrontar al estudiante con la lectura y la necesidad de comprender textos en inglés, hoy por hoy *lingua franca* científica, al menos en el área de las Ciencias Básicas.

Así diseñamos para el año 2010 una actividad adicional centrada en un artículo publicado en el año 1977 en el que se presenta un experimento realizado en una facilidad experimental internacional de gran envergadura.

1.3 El material utilizado

El artículo seleccionado fue el siguiente:

“Measurements of relativistic time dilatation for positive and negative muons in a circular orbit”, de J. Bailey *et al.*²

Corresponde a una experiencia realizada en el Muon Storage Ring (Anillo de Almacenamiento de Muones) del Organismo Europeo para la Investigación Nuclear, CERN (por su nombre original: Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire), el que constituye el mayor centro para el estudio de las partículas fundamentales.

En este experimento, muones μ^+ y μ^- (partículas radioactivas inestables) son acelerados a gran velocidad (99.94% de la velocidad de la luz) y forzados a recorrer una órbita circular de 14 m de diámetro. Esta configuración provee un símil de las condiciones imaginadas en la famosa “*paradoja de los mellizos*” presentada en los textos de Física Moderna³, en la cual uno de los hipotéticos gemelos, viajero que se aleja rápidamente y regresa a la Tierra, “*envejece*” durante su viaje más lentamente que su hermano que permanece en reposo en su casa.

Los resultados de este trabajo son coherentes con resultados previos obtenidos a velocidades menores⁴, y confirman las predicciones de la teoría: la vida media de los muones, que en reposo es de 2.2 μs , aumenta hasta 64.4 μs a las velocidades de este experimento, sin que se observen signos de alteración en la constitución interna de las partículas.

Los doce autores del trabajo son investigadores pertenecientes a siete laboratorios diferentes ubicados en tres países europeos. El número de investigadores involucrados y la variedad en su afiliación agrega un aspecto de interés particular para resaltar: la colaboración internacional en el desarrollo de la ciencia.

2. Innovación realizada

2.1. Encuesta previa

Se realizó previamente una encuesta, durante una de las clases de la asignatura, orientada a obtener datos preliminares sobre la familiaridad de los alumnos con los resultados de la investigación publicados en revistas internacionales.

Respondieron a la misma los 17 alumnos que se encontraban presentes en clase en esa oportunidad (sobre un total de 20 alumnos inscriptos en el curso).

La primera pregunta estuvo orientada a determinar en qué medida los alumnos del curso habían tenido contacto previo con trabajos de investigación.

Las respuestas revelaron que 11 alumnos (64.7%) habían leído algún trabajo de investigación original. De ellos, 2 lo habían comprendido “*totalmente*”, 5 “*razonablemente*”, 2 “*apenas*” y 2 no respondieron (ver Cuadro 1).

De los 6 alumnos que no habían leído trabajos científicos, 2 nunca habían tenido la inquietud, 2 respondieron que nunca se los habían presentado y 1 no leyó el que le presentaron porque no le fue exigido.

² J. Bailey *et al.*, Nature **268**, 301 (1977).

³ Ver, por ejemplo, J. Bernstein, P.M. Fishbane y S. Gasiorowicz, *Modern Physics*, Prentice Hall, NJ (2000).

⁴ J. Bailey *et. al.*, Nuovo Cimento **9A**, 368 (1972).

La segunda pregunta se orientó a indagar acerca de las competencias de lectura en lengua extranjera, especialmente inglés.

Solamente 3 alumnos (11.8%) declararon no poder leer textos en inglés. Sin embargo, de los 14 alumnos que respondieron afirmativamente, 10 indican que lo hacen *“con dificultad”* (ver Cuadro 2). Del total de alumnos encuestados, 2 leen otro idioma (alemán o francés).

Las respuestas a la tercera pregunta muestran que más de la mitad (52.9%) de los alumnos no conocen mecanismos apropiados para acceder a publicaciones científicas originales (Cuadro 3).

Una pregunta abierta permitió conocer algunas oportunidades que habían facilitado que los alumnos se acercaran a la investigación:

- Adquisición de revistas de divulgación en la casa o préstamos de las mismas por familiares o amigos.
- Contacto con artículos en Internet.
- Respuesta a los requerimientos de alguna cátedra para realizar una práctica.
- Recomendaciones recibidas en cátedras de tipo tutorial en otra unidad académica, o por parte de profesores para realizar un trabajo.
- Deseo de saber qué se estudia o investiga en alguna de las disciplinas. Curiosidad.
- Interés en algún tema específico, en la historia de algún experimento, o en temáticas generales como la arqueología o la evolución biológica.

2.2. La tarea

Una segunda etapa de la intervención fue la de establecer la exigencia de realizar una labor específica centrada en la publicación seleccionada, cuya realización constituiría un requisito para aprobar la asignatura.

El objetivo fue lograr que el alumno:

- Reconozca las diferentes partes de una publicación científica: el título, los autores, sus afiliaciones, la introducción al tema del trabajo, los resultados obtenidos, su análisis y discusión, y la bibliografía citada.
- Lea y traduzca al castellano un texto científico escrito originalmente en inglés. Obtenga información complementaria, en este caso sobre un centro de investigación relevante.
- Comprenda y comente un texto científico.

Para ello, el análisis requirió:

- Identificar a cada uno de los autores.
- Identificar su afiliación.
- Traducir el resumen del trabajo.
- Identificar el lugar físico en que se realizó el experimento y obtener información adicional sobre el mismo.
- Comentar sobre algún aspecto del trabajo que resultase de interés particular para el alumno.

La labor exigida podía ser realizada en forma individual o en grupos pequeños, pero debía plasmarse en un informe individual y manuscrito. Se solicitó redacción propia, acotada en su extensión por un número máximo de palabras.

Este requerimiento se relaciona con la intención de fortalecer las competencias de asociadas a la comunicación escrita: al hacerlo en forma manuscrita e individual se exige una atención directa y personal a cada uno de los párrafos del informe.

2.3 Análisis y evaluación de los resultados

La evaluación de los resultados obtenidos con la intervención se realizó a través de los informes presentados por los alumnos. Completaron en término este requerimiento 19 alumnos del curso, presentando sus informes satisfactoriamente al finalizar el período lectivo. Acerca del lugar de realización de la experiencia, el CERN, los alumnos recogieron la siguiente información básica:

- Se trata de un emprendimiento científico orientado al estudio de partículas fundamentales, financiado y gerenciado en forma conjunta por 20 estados europeos.
- Sus instalaciones, principalmente grandes aceleradores de partículas, están abiertos a proyectos científicos de todo el mundo y participan investigadores de más de 200 institutos.
- Su sede está en la frontera entre Francia y Suiza.
- Sus investigaciones han dado lugar a importantes avances en la física y, entre ellos el descubrimiento de los bosones W y Z, logro por el que en 1984 se otorgó el Premio Nobel a Carlo Rubia y a Simon van der Meer.

El último punto de la guía dio lugar a respuestas variadas e interesantes. Algunos alumnos analizaron la introducción, otros, algún aspecto del desarrollo e incluso uno analizó las referencias del trabajo.

Si bien 5 de los trabajos podrían considerarse esencialmente descriptivos, la mayoría aportó interesantes respuestas, las que se reproducen y comentan a continuación, por cuanto reflejan logros de la tarea emprendida, más allá del contacto del alumno con los resultados científicos específicos motivo de estudio en la asignatura.

Algunos comentarios profundizan sobre el trabajo en sí:

- Un alumno resumió muy acertadamente los objetivos y resultados del trabajo, indicando que muestra la *“concordancia con el factor de dilatación del tiempo de Einstein”, “recrea las condiciones de la paradoja de los gemelos”* y permite *“buscar modificaciones de las predicciones de la teoría debido a la aceleración”*.
- Otros, trabajando en grupo, observaron que *“el objetivo principal del trabajo era otro: medir el momento magnético anómalo del muón”*.

Por otra parte, varios alumnos puntualizaron aspectos del proceso científico y del contexto en que se desarrolla y se difunde o comunica la ciencia:

- Un alumno reflejó la visión que puede transmitirse en un curso en forma involuntaria: *“... la dilatación del tiempo, el límite de la velocidad de la luz y la contracción de la longitud de un cuerpo en movimiento deja de ser una historia fantástica que podría ocurrir sólo en cuentos y películas de ficción”*.
- En otros, impactó la interdisciplinariedad, ya que les *“llamó la atención observar cómo la matemática se relaciona con las otras ciencias”* y *“la cantidad de científicos que pueden aportar sus investigaciones”*. La labor realizada fue considerada *“una buena tarea, ya que nos demandó consultar diferentes sitios como libros e internet y de esta forma adquirir nuevos conocimientos e informarnos”*.
- Otro puso el acento en el proceso de avance de la ciencia y la realimentación entre la experimentación y el desarrollo de las teorías. Resaltó que, en su opinión, *“la importancia del experimento radicó tanto en los resultados obtenidos: medidas concretas que verificaron postulados teóricos; como en la metodología, experimentos previos, etc. utilizados para llegar a ellos. Es así como, a través de pequeñas contribuciones, que implican grandes esfuerzos, se van actualizando los contenidos en la física relativista”*.
- Dos, trabajando en conjunto, manifestaron en el mismo sentido que: *“Lo provechoso de esta investigación es justamente la experimentación que pone de manifiesto lo trabajado teóricamente y permite descartar cualquier duda que se tuviera (sobre) la dilatación relativista del tiempo,*

siendo posible mediante la presentación de pruebas 'tangibles' para el hombre". Resaltan también el trabajo como "un ejemplo claro de la colaboración multinacional en pos del desarrollo científico".

Finalmente, algunos alumnos focalizaron su comentario en los investigadores mismos, en su participación en proyectos de largo aliento y en la colaboración internacional, de la que el CERN es un ejemplo notable.

- Analizando las referencias bibliográficas, uno de los alumnos observó que en gran medida (75%) eran "modernas" (menos de 10 años al momento de la publicación), a pesar de que el trabajo citado de Einstein es del año 1905. Algunas referían a "otras versiones de experimentos similares", lo que le sugiere que el trabajo "se enmarca en un largo proyecto de mediciones y caracterización de muones en decaimiento en el que la mayoría de los autores debe haber contribuido en diferente medida" (un tercio de las referencias corresponde a autores del trabajo bajo análisis).
- Otro alumno manifestó que: "... me impresionó mucho por la cantidad de autores que colaboraron. También me impactó la diversidad de las universidades, los autores pertenecen a universidades de toda Europa". También le sorprendió "... la importancia del CERN en el mundo y su prestigio, siempre pensé que los centros más grandes estaban en EEUU y que Europa estaba mal científicamente después de la 2ª guerra mundial".

3. Conclusiones

La riqueza de las respuestas en lo referido a las fuentes del conocimiento, a la relación de la experimentación con las teorías físicas vigentes y al contexto en que se desarrolla la investigación, constituye un aporte importante a la formación tanto de los Licenciados en Ciencias Básicas en su rol de investigadores, como de los Profesores en su calidad de formadores en Ciencia. A partir de esta consideración, y realimentando el sistema, se ha considerado la conveniencia de socializar los informes de los alumnos durante el curso, anticipando para ello la fecha de su presentación.

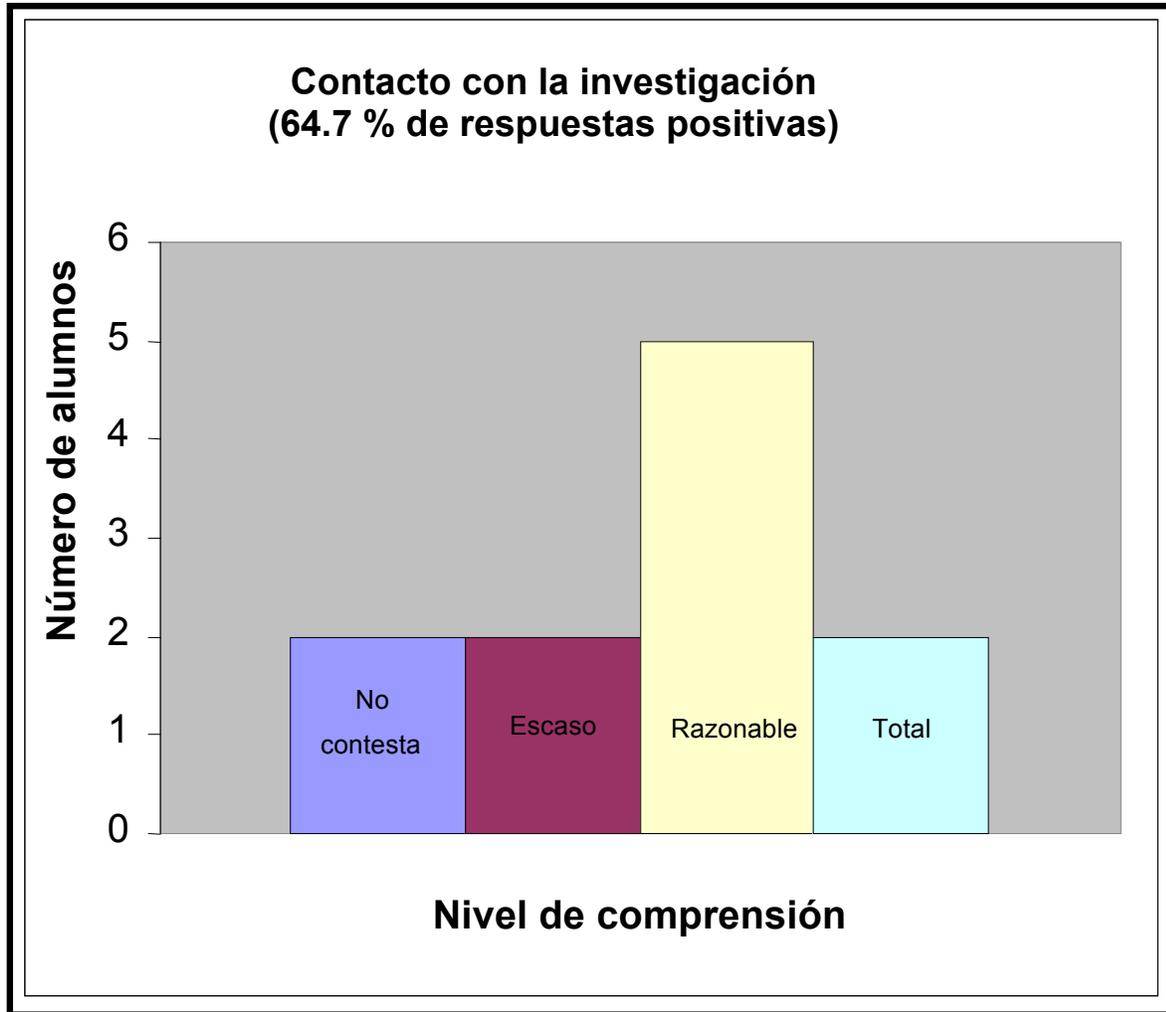
También surge la posibilidad de focalizar la atención en los investigadores que producen el conocimiento actual y, por ejemplo, realizar una búsqueda sobre alguno o algunos de los autores con el objeto de humanizar el trabajo publicado y asociarlo a una trayectoria científica concreta.

La observación de un caso en que la redacción fue muy confusa y con serios defectos gramaticales y conceptuales muestra la necesidad de prestar atención al desarrollo de las competencias de comunicación, aún en castellano.

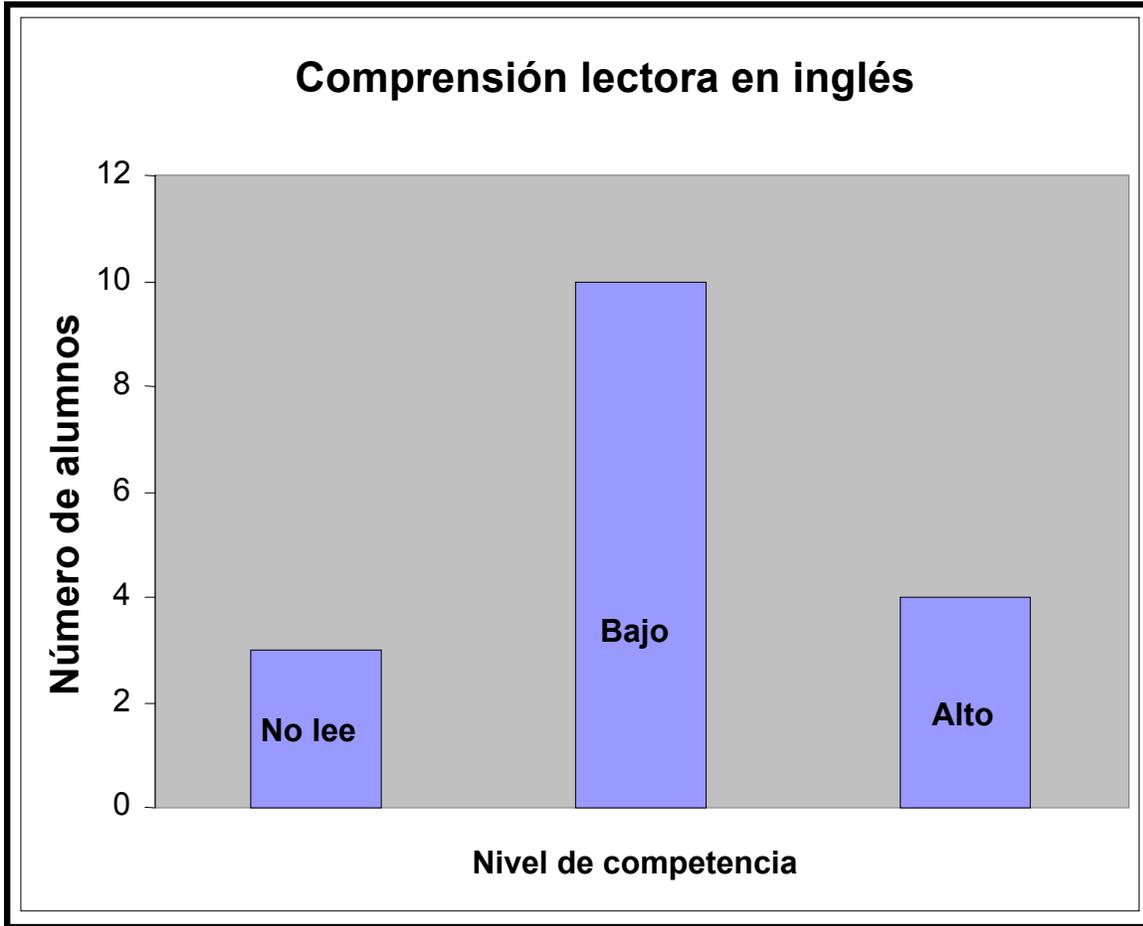
Finalmente, la encuesta muestra que la lectura y comprensión de textos en inglés se realiza con dificultad, por lo que se analizará la factibilidad de incorporar en el plan de estudios de la carrera un mayor nivel de exigencias en ese sentido. Al respecto, y dentro de un Programa de Educación en Ciencias Básicas del Instituto, se desarrolla un trabajo de investigación educativa tendiente a una tesis doctoral, centrada en la identificación de competencias referidas a la expresión oral y escrita en inglés que hagan a la formación como investigador de un Licenciado en Ciencias Básicas.

En síntesis, la incorporación de esta instancia de análisis y comentario de un trabajo de investigación original entre las exigencias del curso fue positiva, y será conservada en el futuro.

Cuadro 1



Cuadro 2



Cuadro 3

